

# 安全対策 特集

## 大型油圧ショベル転倒時保護構造に関する研究

西ヶ谷 忠明・佐々木 隆男

油圧ショベルの横転・転倒時に運転員を保護する構造に必要な性能基準は、運転質量 6,000 kg 以下の小型油圧ショベルに対して ISO 12117, JIS A 8922 (TOPS) が制定されているが、より大型の油圧ショベルに対しては規定がない。ISO 12117 を中・大型に適用させることは困難と考えられることから、改めて大型機に対する基準値を設定する必要がある。本研究は、実機油圧ショベルの転倒実験等を行い、この実験から得られた荷重および吸収エネルギーを基に、大型油圧ショベル用 TOPS に適用すべき性能基準を提案したものである。

キーワード：油圧ショベル、保護構造、転倒事故

### 1. 経 緯

油圧ショベルは、現在普及が最も進んでいる建設機械であり、普及台数の多さ故に、建設機械に係わる死亡事故の約 50% が油圧ショベルに関するもので、次に多いローラ類に比べても約 5 倍と際立って多い。また、油圧ショベルの運転員が被災する事故要因としては、機械の横転および路肩等から機械と共に転落の 2 要因で全事故の 8 割以上を占める（図-1）。

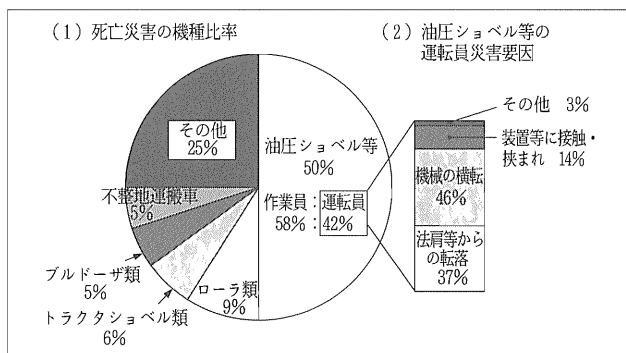


図-1 建設機械等に関連する死亡災害  
(建設業安全衛生年鑑：建設業労働災害防止協会  
平成 2 年～平成 12 年の統計処理より)

油圧ショベルが横転した際に運転員が押しつぶされるのを防ぎ、衝撃を緩和してくれる構造物を装備すれば、前述の死亡事故低減に寄与することは明白である。このような構造物として、運転質量 6,000 kg 以下のブームスイングタイプには、TOPS (Tip-over protection structure) として要求される性能基準と試験方法について規格化がなされている (ISO 12117, JIS

A 8922)。

この規格をより大型の油圧ショベルに拡大適用させるには、その必要となる吸収エネルギー等の確認が必要であり、そのまま適用することは困難である。

このため、社団法人日本建設機械化協会の標準部会 ISO/TC 127/SC 2 に TOPS 分科会を設けて検討することとなった。同分科会の活動の一環として施工技術総合研究所が 1999 年～2001 年にかけて油圧ショベルの転倒実験を行なった。

大型油圧ショベルの TOPS に関する性能要求基準を決定する方法としては、シミュレーションによる方法も考えられるが、現実的かつ説得力に富む、実機による転倒実験を行い、そのときの TOPS の変形を観察・測定し、同仕様の TOPS に対する静的負荷試験結果との対比から、転倒実験時に負荷された荷重および吸収エネルギーを推定し、実験式を作成する方法とした。

### 2. 実験の条件設定

実機による転倒実験の前提条件は、事故状況の分析等により次のように判断・設定を行なった。

#### (1) 転倒箇所

運転質量 6,000 kg を超える油圧ショベルについて、地表面上での横転と路肩等ある程度の落差を伴う転落・転倒を比較すると、事故比率で前者約 30%、後約 70% であることから、TOPS の負荷条件を決めるうえで、地表面上の横転よりも若干の落差を伴う斜面

上の転落・転倒を前提とした。これは、運転質量6,000 kg以下のTOPSの負荷条件（地表面での横転）とは異なるものである。

転倒実験における斜面の勾配は、我が国における道路土工指針の規定、土工機械の転倒時運転員保護構造(ROPS)のISO規格を参考として30度とし、落下高さについては、転落・転倒事故の大部分を占める5mとした。

## (2) 転倒時の機械姿勢

事故時のフロント姿勢については十分な情報が得られていないが、フリーに転倒した際に最もキャブにダメージを与える可能性のある姿勢として、下部走行体および上部旋回体は斜面と平行で、供試キャブは斜面側とし、フロントは最大リーチ（床面最大掘削半径）とした。転倒斜面および転倒時の機械姿勢を、写真1に示す。

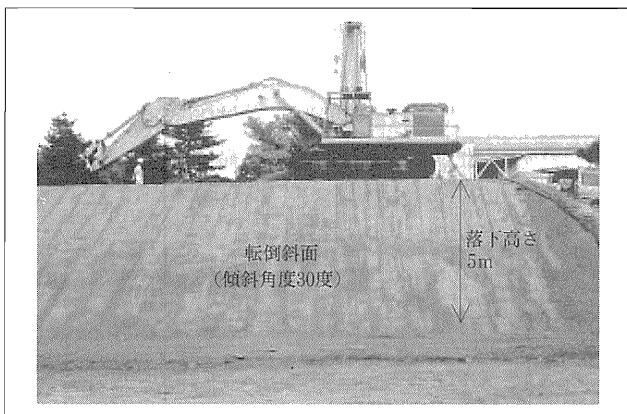


写真1 転倒斜面と機械姿勢

## (3) 供試機および供試キャブ

TOPSの転倒時吸収エネルギーの実験式を作るうえで、少なくとも3種類の運転質量の異なる油圧ショベルについて実験を行う必要がある。選定した供試機を表1に示す。

供試キャブは、供試機Aは実機キャブとし、この実験結果を基に、供試機B、CではDLV（たわみ限界領域）を確保するために適切な剛性を持たせた疑似TOPSとした。

## (4) 供試キャブの吸収エネルギー推定

転倒実験において供試キャブが受ける負荷荷重および吸収エネルギーを直接求めることは不可能である。このため同仕様の供試キャブに静的な載荷試験を行ない、転倒実験と同じ変形状態を再現し、負荷荷重および吸収エネルギーを推定した。

表1 供試機の主要諸元

供試機		A	B	C
本体質量 (kg)		9,700	14,900	35,400
運転質量 (kg)		11,800	19,100	44,200
接地圧 (kPa)		37.0	44.1	65.9
バケット容量 (m³)	山積	0.50	0.80	1.90
	平積	0.39	0.60	1.40
最大掘削半径 (m)		8.27	9.88	11.85
完成機寸法 (m)	全長	7.58	9.43	11.73
	全幅	2.50	2.80	3.49
	全高	2.72	2.97	3.48
最低地上高さ (m)		0.44	0.44	0.51
後端旋回半径 (m)		2.13	2.75	3.61
旋回体後部下端高さ (m)		0.89	1.09	1.29
供試キャブ		実機キャブ	疑似TOPS	疑似TOPS

## 3. 実験方法

### (1) 転倒実験

#### (a) 転倒方法

転倒のきっかけは法肩と反対側の履帯を、移動式クレーンで吊り上げる方法とした。

#### (b) 測定項目と測定方法

供試キャブのマウント部（防振ゴム支持）にかかる荷重および、静的載荷試験における荷重の着点での変形量を測定した。

### (2) 静的載荷試験

#### (a) 載荷装置

社団法人日本建設機械化協会施工技術総合研究所のROPS静的載荷試験装置を使用した（図2）。

#### (b) ベンチ

供試機AおよびBは実機そのままを、供試機Cは実機上部フレームにブームおよびブームシリングを取付けた状態とし、載荷試験装置のテストベットに固定した。

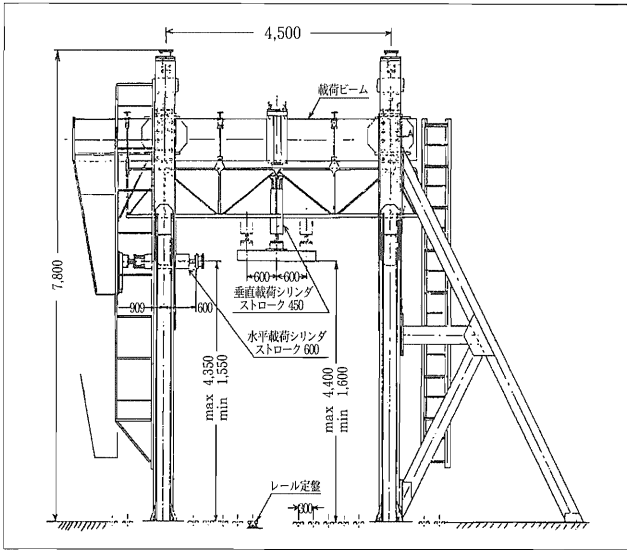
#### (c) 載荷方法

水平荷重の着点とは、正規にセットされるDLV（たわみ限界領域）の前後垂直投影線距離の中央位置、かつ、供試キャブの上縁主要部材厚さ（高さ）の半分の位置とした。また、着点での局部的変形を避けるため、上縁主要部材長さ（L）の80%以下の負荷分布装置を用いた。

供試キャブの変位速度は、水平載荷用ジャッキの推進速度で制御した。ジャッキ速度は、一般的に静的載荷と見なされる毎秒5mm以下とした。

#### (d) 測定項目と測定方法

供試キャブの水平荷重と変位量を測定し、吸収エネ



〔試験装置の主な仕様〕

- ① テストベッド 幅 7.4 m×長 11 m×深 2.5 m
- ② 主柱内面間隔 4 m
- ③ 荷重ビームおよび昇降装置 可動範囲 1.55~4.35 m
- ④ 水平荷重装置 油圧式 100 tf×600 mm ロードセル 10 tf, 20 tf, 50 tf, 100 tf
- ⑤ 垂直荷重装置 油圧式 100 tf×450 mm ロードセル 10 tf, 20 tf, 50 tf, 100 tf
- ⑥ 運転装置 計測室からリモートコントロール
- ⑦ 計測装置 荷重、変位およびひずみエネルギーをデジタル表示、同時プリント方式

図-2 ROPS 静的荷重試験装置

ルギーを算出した。水平荷重は水平荷重用ジャッキに装備されたひずみゲージ式ロードセルで、変位量は同ジャッキ先端の荷重分布装置両端に設けられたワイヤエンコーダ式変位計で測定した(図-3)。

(1) 式に基づき平均変位量 5 mm 毎に吸収エネルギー

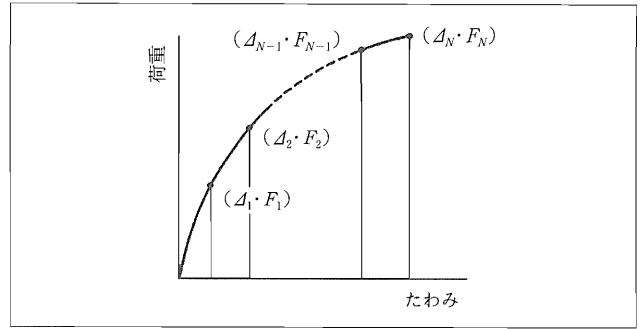


図-3 荷重試験時の荷重-たわみ曲線の例

ギーを算出した。

エネルギー (U)

$$= \frac{\Delta_1 F_1}{2} + (\Delta_2 - \Delta_1) \frac{F_1 + F_2}{2} + \dots + (\Delta_N - \Delta_{N-1}) \frac{F_{N-1} + F_N}{2} \quad (1)$$

#### 4. 実験結果

##### (1) 転倒実験

転倒実験状況及び転倒後の供試キャブ状況を写真-2に示す。

供試機は斜面上で左側面を下にした状態、いわゆる横転した状態では止まらずに、機械の前後方向軸を中心に機械が地面との接触を失うことなく 360 度以上回転をした。写真-2 の供試機 A の供試キャブは、2 回

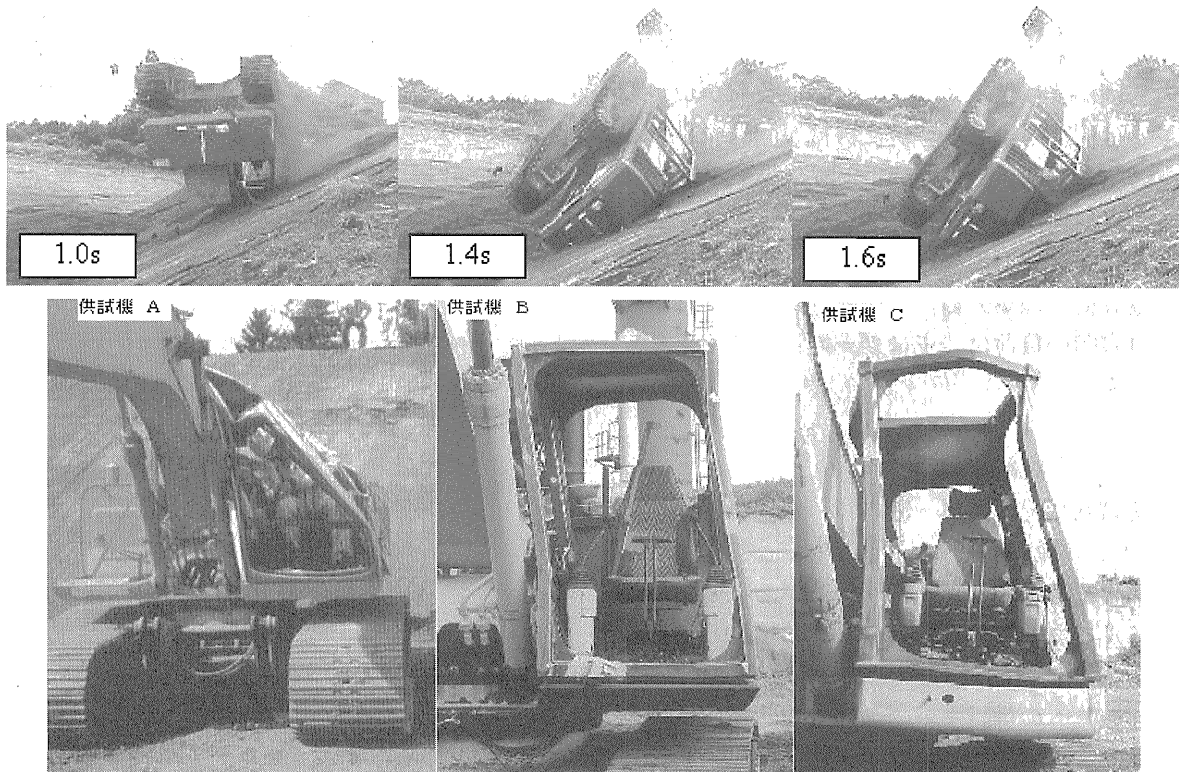


写真-2 転倒実験状況(上)及び転倒後(下)の供試キャブ状況

の転倒による衝撃を受けた状態である。

(a) 供試キャブの変形

供試キャブの右前方は、ブームやブームシリンダに接触するため、他の場所と比較して変形は小さい。また、左右方向の変形に比べて前後方向の変形は小さい。

写真-2 に示した供試キャブの状況は、スプリングバック等により復元したものである。転倒時の最大変位量は、表-2 に示すとおりである。

表-2 転倒実験結果

供試機	A	B		C	
		疑似 TOPS-1	疑似 TOPS-2	疑似 TOPS-1	疑似 TOPS-2
供試キャブ	実機キャブ				
最大変位量 (mm)	850	336	350	450	540
機械の回転角度 (度)	540	450	360	360	360
斜面の凹み (キャブ位置)	極めて浅い (20~30 mm)	380 mm	240 mm	260 mm	180 mm
主要部材の破断	なし	後部支柱が破断	なし	水平部材に亀裂	水平部材に亀裂

(b) 転倒斜面の接触跡

供試キャブの左側上部は転倒に伴い斜面に貫入し、斜面に V 字型の接触痕を残す。この深さは表-2 のとおりであり、供試キャブの最大変位量が大いほど接触痕の深さは浅い。このことより、機械の転倒で生じるエネルギーを供試キャブと地盤の両方で吸収しており、供試キャブの剛性によりその分担率が変わると考えられる。

転倒地盤は礫混じり砂質土で、極限支持力は 1,023 kN/m<sup>2</sup> である。

(c) 供試キャブへの垂直負荷

機械の転倒により供試キャブの側面に負荷がかかり供試キャブは変形を生じる。更に機械が回転することにより、写真-2 (1.0s) に示すように供試キャブには垂直方向の負荷が生じる。しかし、キャブマウント部の荷重変化と支柱の応力測定から、供試キャブに作用する垂直負荷は僅かであった。これより、回転中における垂直方向の負荷は、主にブーム頂上部で支えているものと考えられる。

(2) 静的載荷試験

静的載荷試験状況を写真-3 に示す。

(a) DLV の確保

転倒時保護構造としては転倒時の衝撃を吸収することはもちろんであるが、運転員の身体に接触しないことも重要である。静的載荷試験時における DLV (たわみ限界領域) への供試キャブの侵入および確保は表-3 に示すとおりで、供試機 A の実機キャブでは DLV の確保はできなかった。

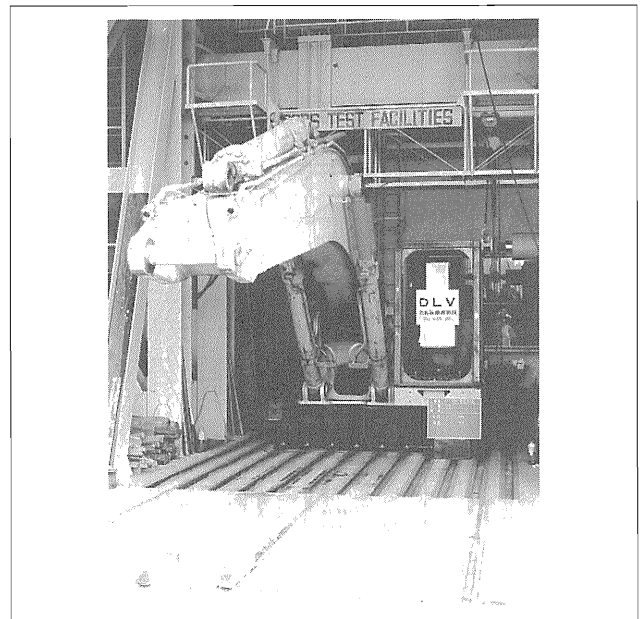


写真-3 静的載荷試験状況

表-3 静的載荷時の DLV 確保

供試機		A	B		C	
供試キャブ		実機キャブ	疑似 TOPS-1	疑似 TOPS-2	疑似 TOPS-1	疑似 TOPS-2
DLV との接触	正立 DLV	変位 295 mm で接触	変位 258 mm で接触	接触無し	接触無し	接触無し
	側方 15 度傾き DLV	変位 462 mm で接触	接触無し	接触無し	接触無し	接触無し
試験終了時		DLV を侵害	DLV を確保	DLV を確保	DLV を確保	DLV を確保

(b) 吸収エネルギー

転倒実験で得られた最大変位量まで載荷を行い、このとき得られた吸収エネルギーと機械運転質量の関係を図-4 に示す。参考として ROPS におけるクローラトラクタのエネルギー基準も示した。

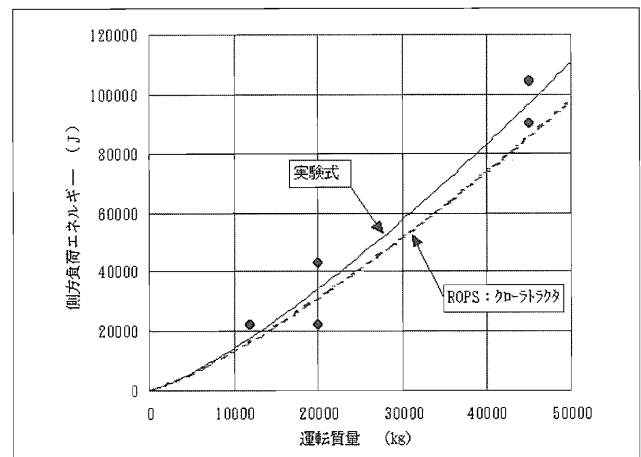


図-4 側方負荷エネルギーと近似曲線

今回の試験結果は、クローラトラクタの ROPS 基準に近い値となった。実験式を (2) 式に示す。

$$U=14100[M/10000]^{1.28} \quad (2)$$

ここに、

$U$ : エネルギー (J),  $M$ : 機械質量 (kg)

### 5. 規格化の提案

傾斜角 30 度以下の平らな堅い地盤の斜面上に、運転席が下になる形で転倒し、360 度以内の回転を生じるという条件の下で、運転員を保護する構造の規格作成に際し、次項を提案する。

#### (1) 適用範囲

運転質量 6,000 kg を超え 50,000 kg 未満の標準仕様油圧ショベルを適用対象とする。

#### (2) 適用除外

以下の油圧ショベルは適用除外とする。

- ① ローディングショベル：  
転倒する可能性が低い作業環境であるため。
- ② ハイキャブの油圧ショベル：  
特殊用途のため。

#### (3) 負荷方向

保護構造に対する負荷は、側方負荷と垂直負荷とする。垂直負荷については、転倒する斜面が低い場合等の状況によっては、180 度回転で停止することも考えられるためである。

#### (4) DLV の回転

たわみ限界領域 (DLV) は、小型油圧ショベルの TOPS (ISO 12117, JIS A 8922) と同様に、基準軸 LA より上の部分を、鉛直方向に対して側方に 15 度まで傾けることができるが、前方に傾斜することは認めない。前屈については後方からの負荷に対してのみ許容されるものと考えられる。

#### (5) 許容基準

保護構造が転倒時などの衝撃に耐える有効な能力を保ちつつ、定められた DLV の姿勢に侵入するほど変形しないことを保証することを意図して、保護構造に対する要求事項は、側方のエネルギー吸収能力および垂直負荷能力である。また、構造物が DLV に侵入することを制限するため、保護構造物のたわみに対して制限が必要である。

##### (a) 側方負荷エネルギー

許容基準としては、有効な能力が保たれると考えら

れる最小値で示すべきと思われる。今回の試験では、供試機 C (質量 45,000 kg) は正立した DLV を十分確保しており、実験式は余裕を含んでいるといえる。

転倒した際にブームやカウンタウエイトが接地するまでに、保護構造だけで衝撃を支える必要があり、この時点ではクローラトラクタの ROPS と同じ条件であると考え、側方負荷エネルギーの許容基準はクローラトラクタ ROPS の式 (小型油圧ショベルも同一) とする。提案式を (3) 式に示す。

$$U=13000[M/10000]^{1.25} \quad (3)$$

ここに、

$U$ : エネルギー (J),  $M$ : 機械質量 (kg)

である。

##### (b) 垂直負荷荷重

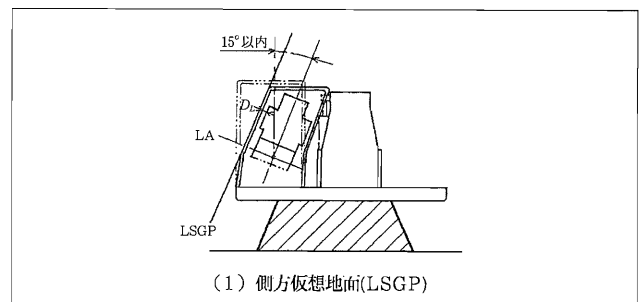
180 度回転で停止した場合には、ブームと保護構造の 2 点で機械質量を支えることから、ROPS の許容基準の 1/2 とする。提案式を (4) 式に示す。

$$F=9.8 M \quad (4)$$

また、ROPS と同様、垂直載荷は上記基準で 5 分間の支持をしなければならない。

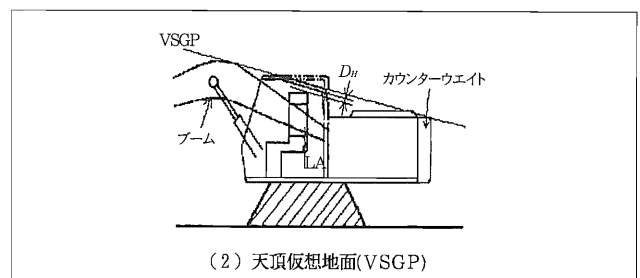
##### (c) たわみ

側方負荷および垂直負荷の試験時において、試験のいかなる段階においても構造部材が DLV (15 度傾斜)



$$D_L = (4m/1000) + 20$$

ここに、 $D_L$ : LSGP 内側の EOPS 構造部材と DLV との最小隙間 (mm)  
 $m$ : 製造業者が指定する試験機械の運転質量 (kg)



$$D_H = \{(3.5m/1000) + 40\} / 2$$

ここに、 $D_H$ : VSGP 内側の EOPS 構造部材と DLV との最小隙間 (mm)  
 $m$ : 製造業者が指定する試験機械の運転質量 (kg)

図-5 仮想地面における構造部材と DLV の隙間

に入ってはならない。これは絶対条件である。

### (6) 機械特有の構造による許容基準

油圧ショベルが転倒した際、ブームやカウンタウエイト等の剛体部が支えとなり、保護構造の変形は剛体部で形成される面（仮想地面という）より進行しないとすれば、残された空間でDLVが確保できればよい。ただし、その場合でも剛体部が斜面にめり込むことを考慮して、保護構造とDLV間には図-5の隙間が必要である。

## 6. ま と め

本研究および提案内容は、社団法人日本建設機械化協会規格JCMAS H 018「6トンを超える油圧ショベル転倒時保護構造（EOPS）—試験方法および性能要

求事項」として発行されている。さらに、国際規格化のためISO 12117（TOPS）の改正として、新規業務項目提案し、各国の支持を得て、現在審議中である。

なお、本研究の実施に際しTOPS分科会委員会（油圧ショベルメーカー5社より構成）各位より多大なるアドバイスとご協力をいただいた。ここに感謝の意を表し、厚く御礼申し上げる。

JCM A

#### [筆者紹介]

西ヶ谷忠明（にしがや ただあき）  
社団法人日本建設機械化協会  
施工技術総合研究所  
研究第4部長

佐々木隆男（ささき たかお）  
社団法人日本建設機械化協会  
施工技術総合研究所  
研究第4部  
主任研究員

## 建設工事に伴う 騒音振動対策ハンドブック

「特定建設作業に伴って発生する騒音の規制に関する基準」（環境庁告示）が平成8年度に改正され、平成11年6月からは環境影響評価法が施工されている。環境騒音については、その評価手法に等価騒音レベルが採用されることになった等、騒音振動に関する法制度・基準が大幅に変更されている。さらに、建設機械の低騒音化・低振動化技術の進展も著しく、建設工事に伴う騒音振動等に関する周辺環境が大きく変わってきている。建設工事における環境の保全と、円滑な工事の施工が図られることを念頭に各界の専門家委員の方々により編纂し出版した。本書は環境問題に携わる建設技術者にとっては必携の書です。

#### ■掲載内容：

- 総論（建設工事と公害、現行法令、調査・予測と対策の基本、現地調査）
- 各論（土木、コンクリート工、シールド・推進工、運搬工、塗装工、地盤処理工、岩石掘削工、鋼構造物工、仮設工、基礎工、構造物とりこわし工、定置機械（空気圧縮機、動発電機）、土留工、トンネル工）
- 付録 低騒音型・低振動型建設機械の指定に関する規程、建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法、建設機械の騒音及び振動の測定値の測定方法の解説、環境騒音の表示・測定方法（JIS Z 8731）、振動レベル測定方法（JIS Z 8735）

■体 裁：B5判，340頁，表紙上製

■定 価：会 員 5,880円（本体5,600円） 送料 600円

非会員 6,300円（本体6,000円） 送料 600円

・「会員」 本協会の本部、支部全員及び官公庁、学校等公的機関

## 社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館） Tel. 03(3433)1501 Fax. 03(3432)0289